



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>7</sup> : <b>F01L 9/04</b>	A1	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 00/22283</b>
		(43) Date de publication internationale: 20 avril 2000 (20.04.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/02495	(81) Etats désignés: JP, KR, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Date de dépôt international: 14 octobre 1999 (14.10.99)	
(30) Données relatives à la priorité: 98/12940 15 octobre 1998 (15.10.98) FR	Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i>
(71) Déposant ( <i>pour tous les Etats désignés sauf US</i> ): SAGEM SA [FR/FR]; 6, avenue d'Iéna, F-75016 Paris (FR).	
(72) Inventeur; et	
(75) Inventeur/Déposant ( <i>US seulement</i> ): FIACCABRINO, Calogero [FR/FR]; 8, rue Pierre Scheringa, F-95000 Cergy (FR).	
(74) Mandataire: FORT, Jacques; Cabinet Plasseraud, 84, rue d'Amsterdam, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).	

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR ELECTROMAGNETIC VALVE ACTUATING

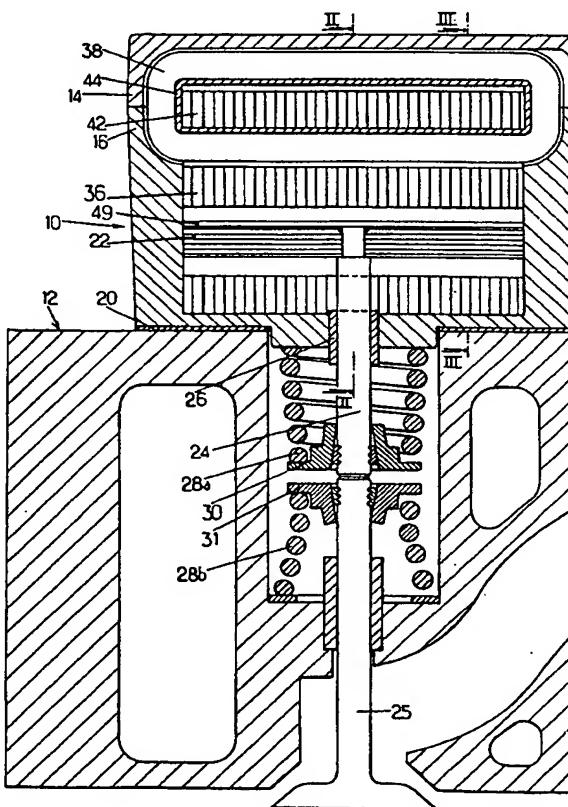
(54) Titre: PROCEDE ET DISPOSITIF D'ACTIONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE DE SOUPAPE

## (57) Abstract

The invention concerns an electromagnetic valve actuator comprising an armature driving the valve (25), elastic return means (28a, 28b) arranged to maintain the valve inoperative in a specific position, substantially median between two extreme positions, whereof one position closing the valve, electromagnetic means (38) with a ferromagnetic core placed on the sides of the armature and an alternating power circuit for said electromagnetic means. The power circuit calculates the speed with which the armature approaches each of the extreme positions by the measuring the current in the electromagnetic means and sends in the electromagnetic means a current automatically controlling the variation of said speed at a specific set profile.

## (57) Abrégé

L'actionneur électromagnétique pape comprend une armature d'entraînement de la soupape (25), des moyens élastiques de rappel (28a, 28b) prévus pour maintenir au repos la soupape dans une position déterminée, sensiblement médiane entre deux positions extrêmes, dont une position de fermeture de la soupape, des moyens électro-magnétiques (38) à noyau ferro-magnétique placés des deux côtés de l'armature et un circuit d'alimentation alternée desdits moyens électromagnétiques. Le circuit d'alimentation calcule la vitesse avec laquelle l'armature approche de chacune de ses positions extrêmes à partir de la mesure du courant dans les moyens électro-magnétiques et envoie dans les moyens électro-magnétiques d'un courant asservissant la variation de ladite vitesse à un profil de consigne déterminé.



***UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION***

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yugoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

**PROCEDE ET DISPOSITIF D'ACTIONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE DE SOUPAPE**

5 L'invention concerne les actionneurs électromagnétiques destinés à déplacer en translation une soupape pour l'amener alternativement dans une position d'ouverture et une position de fermeture. Elle trouve une application particulièrement importante dans la commande des soupapes d'un moteur à combustion interne, à allumage par étincelles ou par compression.

10 On connaît (US-A-4 614 170) un actionneur électromagnétique, ayant une armature ou palette en matériau ferromagnétique d'entraînement de la queue de soupape, des moyens de rappel élastiques prévus pour maintenir au repos la soupape dans une position médiane entre les positions d'ouverture complète et de 15 fermeture, et des moyens électromagnétiques permettant d'amener alternativement les soupapes dans les deux positions. Les moyens électromagnétiques décrits dans le document US-A-4 614 170 ont un premier électro-aimant à noyau ferromagnétique placé d'un côté de la palette et dont l'excitation attire la palette dans un sens tendant à fermer la soupape et un second électro-aimant, placé de 20 l'autre côté de la palette, dont l'excitation tend à amener la soupape dans la position de pleine ouverture.

25 Un autre actionneur électromagnétique est décrit dans la demande de brevet n° 98 12489. Les moyens électromagnétiques de ce dernier actionneur ont une bobine unique montée sur un circuit ferromagnétique de construction telle qu'il présente, en combinaison avec l'armature, deux cheminements stables de flux magnétique correspondant l'un et l'autre à une valeur faible, généralement nulle, d'entrefer entre l'armature et le circuit 30 ferromagnétique.

Le mode d'actionnement de ces actionneurs électromagnétiques est le suivant. Les moyens électromagnétiques permettent d'exercer

des forces d'amenée de l'armature dans une position « haute » qu'on supposera correspondre à la fermeture de la soupape, et une position dite « basse », correspondant à l'ouverture, et de maintenir l'armature dans ces positions. En position « haute » l'équipage comprime un ressort de stockage d'énergie mécanique tant qu'un courant adapté dans une bobine ou la bobine unique retient l'armature. Lorsque le courant de maintien est supprimé, le ressort propulse l'équipage mobile vers la position « basse ». Une tige fixée à l'armature pousse la queue de soupape et comprime le ressort de fermeture de la soupape. En fin de course de l'armature, on établit un courant de maintien dans la bobine ou une bobine appropriée pour que la soupape reste ouverte. Le ressort de fermeture de soupape stocke à son tour de l'énergie et propulse à son tour la soupape et l'armature vers le haut quand le courant de maintien est coupé.

Une partie de l'énergie mécanique est perdue par frottements, chocs, courants de Foucault et travail résistant des forces de contrepression, en particulier à l'échappement. En conséquence, il faut exercer une force additionnelle, dite d'appel, s'ajoutant à la force exercée par les ressorts pour compenser les pertes d'énergie à chaque passage de l'armature d'une position extrême à l'autre.

L'énergie supplémentaire à fournir doit être suffisante pour garantir une course complète de l'armature, mais ne pas être excessive afin d'éviter un choc terminal qui provoquerait du bruit et de l'usure. Pratiquement, la vitesse à l'impact ne doit pas dépasser quelques centièmes de mètre par seconde pour maintenir l'usure et le bruit à un niveau acceptable.

Les procédés et dispositifs électromagnétiques existants parviennent difficilement à remplir simultanément les deux conditions ci-dessus de façon simple. Ou bien ils doivent tolérer une vitesse d'impact élevée, ou bien ils exigent la présence d'un

capteur de position et/ou de vitesse qui complique le procédé et le dispositif et qui augmente le coût de réalisation.

La présente invention vise notamment à fournir un procédé et un dispositif d'actionnement électromagnétique de soupape permettant un contrôle satisfaisant de l'énergie appliquée, sans pour autant nécessiter un capteur.

Pour cela, l'invention utilise le fait qu'on peut constituer le circuit ferromagnétique des moyens électromagnétiques de façon telle qu'il y ait une relation quasi linéaire entre la réluctance  $R(x)$  et l'entrefer  $x$  au cours des dernières fractions de millimètre du parcours avant collage de l'armature contre le circuit ou les circuits ferromagnétiques. Cette propriété se rencontre notamment dans le cas de moyens électromagnétiques à une seule bobine du genre décrit dans la demande de brevet n° 98 12489 déjà mentionnée. Dans un tel actionneur, l'inductance  $L(x)$  de la bobine varie également de façon quasi-linéaire dans une plage commençant immédiatement au-delà de la position centrale de l'armature si les encoches du circuit ferromagnétique ont sensiblement la même longueur que l'épaisseur de l'armature. Or  $R(x)$  et  $L(x)$  peuvent être calculés à partir du courant  $i$  dans la bobine (ou deux bobines en série), ce qui permet de calculer  $x$  presque à tout moment après le dépassement de la position centrale et d'en déduire la vitesse.

En conséquence l'invention propose notamment un actionneur électromagnétique de soupape comprenant une armature d'entrainement de la soupape, des moyens élastiques de rappel prévus pour maintenir au repos la soupape dans une position déterminée, sensiblement médiane entre deux positions extrêmes, dont une position de fermeture de la soupape, des moyens électromagnétiques à noyau ferro-magnétique placés des deux côtés de l'armature et un circuit d'alimentation alternée des dits moyens électromagnétiques, caractérisé en ce que le circuit

d'alimentation comporte des moyens de calcul de la vitesse avec laquelle l'armature approche de chacune de ses positions extrêmes à partir de la mesure du courant dans les moyens électro-magnétiques et d'envoi dans les moyens électro-magnétiques d'un courant asservissant la variation de la dite vitesse à un profil de consigne déterminé sans l'aide d'un capteur de position ou/et de vitesse s'ajoutant à la bobine ou aux bobines motrices.

Les moyens de calcul peuvent déduire la variation de réluctance de la mesure du courant pendant la phase terminale de l'approche de l'armature, c'est-à-dire pour des entrefers faibles et on peut déduire la variation de  $x$  dans le temps des variations de réluctance.

Dans un mode avantageux de réalisation de l'invention, les moyens de calcul sont également prévus pour calculer de façon répétitive la valeur de l'inductance des moyens électro-magnétiques alors que l'entrefer dépasse une valeur déterminée, ce qui permet de déterminer, par exemple par tabulations, les valeurs correspondantes de  $x$ . Dans ces conditions, la régulation peut commander un profil de variation de vitesses sur la majeure partie du parcours de la palette. Dans l'intervalle pour lequel les lois de variation de  $L$  et  $R$  en fonction de l'entrefer  $x$  ne sont pas très linéaires, une valeur approchée de  $x$  peut être obtenue à tout instant en faisant la moyenne barycentrique des valeurs de  $x$  données par des interpolations supposées linéaires de  $L$  et  $R$  en fonction de  $x$ .

Grâce à cette constitution, on peut effectuer une véritable régulation, par opposition à une simple commande en boucle ouverte ou par opposition à un simple réglage du courant fourni au cours d'un cycle à partir des résultats obtenus au cours d'un cycle précédent d'oscillation de l'armature.

L'invention propose également un procédé de commande de soupape utilisant un tel actionneur, suivant lequel on

échantillonne le courant qui parcourt les moyens électromagnétiques, on en déduit les variations de  $L(t)$  et  $R(t)$  par le calcul, puis les variations de  $x$  par référence à des tables mémorisées, on déduit la vitesse résiduelle des variations de  $x$  dans le temps et on commande l'application d'une tension aux moyens électro-magnétiques de façon à asservir les variations dans le temps de  $x$  à un profil prédéterminé.

Dans la pratique, la zone dans laquelle il n'y a pas variation linéaire de  $L$  ou de  $R$  peut être très étroite.  $R$  varie en effet quasi linéairement en fonction de  $x$  aussi longtemps que l'entrefer  $x$  ne dépasse pas une valeur  $x_1$  d'environ 0,5 mm, dans le cas d'un actionneur dont les parties électro-mécaniques ont la constitution montrée dans la demande de brevet n° 98 12489. L'inductance  $L$  varie de façon quasi linéaire en fonction de  $x$  dès que  $x$  dépasse une valeur  $x_2$  qui est typiquement d'environ 1 mm, lorsque l'épaisseur de l'armature est sensiblement égale à celle des encoches pratiquées dans le circuit magnétique.

Les caractéristiques de  $L$  et  $R$  en fonction de  $x$  peuvent être obtenues sur d'autres types de circuit magnétique, dérivés de celui décrit dans la demande n° 98 12489.

Les caractéristiques ci-dessus ainsi que d'autres, avantageusement utilisables en liaison avec les précédentes mais pouvant l'être indépendamment, apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs.

La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la figure 1 montre un actionneur de soupape selon un mode de réalisation, en coupe suivant un plan passant par l'axe de la soupape ;

- la figure 2 est une vue de détail destinée à montrer les paramètres qui interviennent ;

- la figure 3 est un diagramme de fonctionnement ;

- la figure 4 montre une variante de la figure 3 .

5 - la figure 5 montre une variante de circuit magnétique utilisable.

10 L'actionneur 10 montré en figure 1 est constitué d'un ensemble destiné à être monté sur la culasse 12 d'un moteur. Il comporte un boîtier constitué de plusieurs pièces 14 et 16 empilées et assemblées par des moyens non représentés, tels que des vis. Ces pièces sont en matériau non ferromagnétique, par exemple en alliage léger. Le boîtier peut être fixé sur la culasse 12 par l'intermédiaire d'une cale 20 également en matériau non ferromagnétique.

15 L'actionneur comporte une armature mobile en forme de palette 22. Cette armature est en matériau ferromagnétique, avantageusement feuilleté pour réduire les pertes. Elle est fixée sur une tige 24 d'entraînement de la soupape 25. En général, plusieurs soupapes sont montées côte-à-côte et on ne dispose que 20 d'une largeur faible pour chaque actionneur dans la direction perpendiculaire à celui de la figure 1. Cela conduit à donner à la palette une forme rectangulaire. La palette ne peut pas tourner dans la pièce 16. La tige 24 peut être guidée par une bague 26 fixée à un prolongement annulaire de la pièce 16.

25 Deux ressorts de rappel 28a et 28b sont prévus pour maintenir la soupape au repos dans une position sensiblement médiane entre la position de fermeture et la position de pleine ouverture. Un des ressorts 28a est comprimé entre un plateau 30 fixé à la tige 24 et le prolongement de la pièce 16. L'autre ressort 28b est 30 comprimé entre un plateau 31 fixé à la queue de soupape et le fond du puits de soupape ménagé dans la culasse. Le jeu de distribution entre la tige levée et la soupape fermée garantit l'étanchéité.

5 L'actionneur peut tout aussi bien être utilisé avec un ressort unique travaillant en traction/compression et/ou complété d'un amortisseur élastique assurant l'étanchéité à la fermeture de la soupape, comme indiqué dans le brevet français No. 98 11 670, ce qui permet de constituer la tige et la queue de soupape d'une seule pièce.

10 Le boîtier contient un noyau en matériau ferromagnétique 36, avantageusement feuilleté, délimitant un circuit ferromagnétique avec la palette, et une bobine 38 placée dans le noyau. Le noyau représenté peut être en deux parties complémentaires, en appui 15 l'une contre l'autre ou d'un seul tenant. Les tôles constitutives de chaque moitié du noyau sont en forme de E. Les branches supérieures 42 s'engagent dans la bobine 36 qu'elles supportent par l'intermédiaire d'un mandrin 44. Les deux autres branches de 20 chaque moitié délimitent un volume de débattement de la palette. L'appui de la palette contre le fond 46 du volume définit la position de pleine ouverture de la soupape. Le plafond 48 du volume est à un emplacement par rapport au siège de soupape tel que l'appui de l'armature n'empêche pas la soupape de se fermer. 25 Une encoche médiane 49, correspondant à la position de repos de la palette 22, peut être prévue dans la chambre, de longueur légèrement supérieure à l'épaisseur de la palette. En-dessus et en-dessous de l'encoche, la paroi du volume ne laisse que le jeu nécessaire au débattement pour réduire la réluctance.

25 L'ensemble constitué par la palette, la soupape et le ressort constitue un système oscillant ayant une fréquence propre. En régime permanent, on alimente la bobine pour amener l'équipage mobile dans sa position extrême puis sous un courant de maintien plus faible, jusqu'à ce qu'on provoque le déplacement de 30 l'équipage mobile dans l'autre sens.

Dans un actionneur tel que représenté, la réluctance  $R(x)$  du circuit magnétique varie de façon sensiblement linéaire aussi

longtemps que la valeur  $x$  d'un des entrefers est inférieure à une valeur  $x_1$  qui est généralement d'environ 0,5 mm. L'inductance  $L(x)$  varie également de façon sensiblement linéaire en fonction de  $x$  lorsque l'entrefer dépasse une valeur  $x_2$  d'environ 2 mm.

5 Pour mettre en œuvre l'invention, l'actionneur comporte un circuit d'alimentation (figure 2) ayant un capteur 50 du courant  $i$  dans la bobine. La sortie est exploitée par un circuit de calcul 52 qui commande la tension appliquée par un générateur 54. Une solution commode, car elle permet des calculs numériques, consiste 10 à échantillonner le signal  $i$ . Une fréquence d'échantillonnage de 20 kHz donnera généralement des résultats satisfaisants. Si la bobine est alimentée sous une tension  $u$ , l'inductance  $L(t)$  et la reluctance  $R(t)$  peuvent être obtenus par un programme de calcul d'intégrale :

15

$$L(t) = \left[ \int_{T_0}^T [u(t) - ri(t)] dt + L(T_0) i(T_0) \right] / i(t)$$

$$R(t) = \frac{n^2}{L(t)}$$

20 où :

- $r$  est la résistance connue de la bobine (éventuellement corrigée en fonction de la température),

- L'instant  $T_0$  est choisi tel que  $L(T_0) * i(T_0)$  soit connu. On choisira souvent  $T_0$  tel que  $i(T_0) = 0$ ,

25

- $n$  est le nombre de spires de la bobine.

Le courant est asservi, à l'aide d'une boucle de régulation, en comparant le courant  $i$  mesuré à une valeur de consigne. L'écart observé permet de corriger analogiquement la commande.

Il est avantageux d'utiliser un montage du genre illustré en figure 3, où le calculateur est constitué de plusieurs modules et règle la tension  $u$  appliquée à la bobine, sous forme d'impulsions à fréquence fixe  $fe$ , par commande d'un commutateur de puissance, 5 constituant le générateur 54, par un modulateur de largeur d'impulsions 58. Le modulateur 58 fournit un signal de sortie périodique, à une fréquence  $fe$  de quelques dizaines de kHz ayant un rapport cyclique d'ouverture  $RCO$ .

10 Dans le mode de réalisation illustré, l'intégrale donnant  $L(t)$  est calculée dans un estimateur de flux total, à partir de la connaissance, au travers d'un échantillonneur-bloqueur 60, du rapport cyclique  $RCO(k)$  appliqué sur la période  $k$  d'échantillonnage, de durée  $T_e = 1/fe$  et de la tension nominale 15 Un appliquée par le commutateur 54 :

$$\int_{T_0}^T u(t)dt = \sum_{k=K_0}^K t_e \cdot RCO(k) \cdot U_n(k)$$

où  $K_0$  est tel que  $T_0 = K_0 \cdot t_e$

$K$  est tel que  $T = K \cdot t_e$

20

La tension  $U_n$  est connue par construction du circuit de commutation et n'a pas besoin d'être nécessairement acquise en temps réel.

25 Le courant  $I$  représentatif de  $i(t)$  est présenté au calculateur après que l'échantillonneur-bloqueur 66 l'ait échantillonné à un instant non perturbé par les commutations du modulateur et qu'un filtre anti-repliement ait atténué les harmoniques au delà de  $fe/2$ . L'intégrale de  $r \cdot i(T)$  est calculée 30 numériquement par une méthode du type cumul, simple ou trapézoïdal, des surfaces d'intégration.

L et R peuvent ainsi être calculés à des instants t successifs ; puis

- Une cartographie donnant R en fonction de x et i permet de tirer x par interpolation linéaire, connaissant R et i pour x inférieur à x1.

- Une cartographie donnant L en fonction de x et i permet de tirer x par interpolation linéaire, connaissant L et i pour supérieur à x2.

Entre x1 et x2, on peut estimer x par une moyenne barycentrique des interpolations linéaires à partir de R et à

partir de L.

Après filtrage de la valeur estimée  $\hat{x}$  de x par un filtre numérique dont la fréquence de coupure est de quelques kHz, une opération de dérivation dans un module de calcul de vitesse 65 permet d'obtenir une estimation  $\hat{v}$  de la vitesse durant tout le parcours d'une transition, sans qu'il soit besoin d'un capteur spécifique. Pour un moteur d'automobile, une fréquence fe de 20 kHz et une fréquence de coupure de 75 kHz donnent généralement de bons résultats.

Avant de décrire davantage le montage représenté en figure 3, on exposera les principes adoptés pour son fonctionnement.

La comparaison de la vitesse estimée  $\hat{v}$  avec un profil de vitesse de consigne déterminé par simulation et expérimentalement permet d'élaborer, au travers d'un correcteur 62, le profil de la force d'appel F(t) en réalisant un compromis entre puissance consommée et retard dans l'application des forces de correction.

Pour améliorer la maîtrise de la force F(t) appliquée, il est avantageux que la consigne de courant découle d'une boucle d'asservissement qui asservit numériquement le flux  $\phi(t)$  contribuant à la réalisation de la force magnétique. Cette

5 approche rend robuste la commande en force vis-à-vis des incertitudes de positionnement, en particulier pour les faibles entrefers. Ainsi, la consigne de force que calcule le correcteur 62 est traduite par un module 63 en consigne sur la grandeur du flux total  $\phi(t)$  qui n'est autre que le flux utile à la force du flux de fuite lié à l'inductance de fuite  $L_f$ . Le flux utile  $\phi_u$  peut s'écrire :

$$\phi(t) = \alpha F(t)^{1/2}$$

10 où  $\alpha$  est un facteur d'échelle lié à la géométrie du circuit magnétique et déterminé par simulation et essais.

La consigne de flux total, élaborée dans un module 63, est donnée par la formule :

$$\phi_c = \phi_u + L_p \cdot i(T) \quad \phi_c = \phi_u + L_p \times i(T)$$

15 Le flux de consigne  $\phi_c$  sera comparé au flux total estimé

$$\hat{\phi} = \int_{T_0}^T [u(t) - ri(t)] dt$$

Cette formule utilise des termes déjà disponibles issus de l'estimateur de position 64 et fait intervenir l'inductance de fuite  $L_f$ , déterminée par simulation et essais.

20 Un tel système fonctionne ainsi avec trois boucles fermées imbriquées ; la première fait intervenir la vitesse, la seconde le flux utile, et la troisième le courant  $i$  dans la bobine.

25 Dans le schéma de la figure 3, l'estimateur de position 64 reçoit un signal numérisé  $I$  représentant le courant  $i$  mesuré. A partir de  $I$ , du flux  $\hat{\phi}$  et de tables mémorisées  $R(x, i)$  et  $L(x, i)$ , il élabore, à chaque instant d'échantillonnage à partir du début  $T_0$  d'un cycle, une information de position qui est transmise au

module 65 de calcul de la vitesse réelle estimée. Le correcteur 62 compare le profil de vitesse réelle au profil de vitesse  $v_c$  de consigne et fournit un signal représentatif de la force à exercer  $F(t)$  au module 68 de calcul d'un flux de consigne  $\phi_c$  tenant compte de l'inductance de fuite  $L_f$  et du coefficient  $\alpha$ . Le courant de consigne  $i_c$  nécessaire pour créer le flux  $\phi_c$  est calculé dans un module 72 à partir de l'écart entre  $\phi_c$  et le flux total réel estimé  $\hat{\phi}(t)$ . Ce flux total réel estimé est donné par un module 70 à partir de valeurs mémorisées  $r$  et  $T_e$ , du signal représentatif du courant mesuré  $i$ , de la tension nominale du générateur et du RCO.

Le signal numérique représentant le courant de consigne est fourni au modulateur de largeur d'impulsions 58 par le convertisseur numérique analogique 60, et il compare ce signal à  $I$ .

Le correcteur 62 peut être prévu pour prendre en compte également, sur certaines fractions du parcours, un profil de force de consigne  $f_c$ .

On trouve, sur la figure 3, les trois boucles imbriquées mentionnées plus haut :

- la boucle de courant constituée du modulateur 58, du capteur 50 et du commutateur 54 ;

- la boucle de flux, constituée de l'estimateur de flux total, du module de calcul du flux de consigne et du module 72, se refermant sur la précédente ;

- la boucle de vitesse comprenant l'estimateur de position 64 et le module de calcul de force, se refermant sur la précédente.

Les modules peuvent être constitués par des composants microélectroniques ou des éléments de programme.

Dans une variante de réalisation, montrée en figure 4, la boucle de courant est supprimée. Le module de calcul du courant de

consigne est remplacée par un module 74 qui calcule directement  $RCO(t)$  et l'applique au modulateur 58 qui commande les intervalles de temps d'application de la tension  $u$ .

Dans une autre variante encore, montrée en figure 5, la palette est avantageusement feuillettée et à bords biseautés parallèlement aux pôles du noyau. La tabulation de l'inductance et de la réluctance en fonction du courant et de l'entrefer permet de retrouver avec précision la position et la vitesse de la palette du fait que l'armature n'est pas saturée magnétiquement dans sa plage de fonctionnement et que le flux se referme en passant principalement par l'armature grâce à la forme des pièces polaires du noyau.

La dissymétrie naturelle du circuit de flux supérieur par rapport au circuit de flux inférieur peut être accentuée (pour raccourcir le temps de démarrage) en donnant des inclinaisons différentes aux surfaces polaires supérieures 80 et inférieures 82, les surfaces polaires en regard restant parallèles entre elles.

## REVENDICATIONS

1. Actionneur électromagnétique de soupape comprenant une armature d'entraînement de la soupape (25), des moyens élastiques 5 de rappel (28a,28b) prévus pour maintenir au repos la soupape dans une position déterminée, sensiblement médiane entre deux positions extrêmes, dont une position de fermeture de la soupape, des moyens électro-magnétiques (38) à noyau ferro-magnétique placés des deux côtés de l'armature et un circuit d'alimentation alternée des dits 10 moyens électromagnétiques, caractérisé en ce que le circuit d'alimentation comporte des moyens de calcul de la vitesse avec laquelle l'armature approche de chacune de ses positions extrêmes à partir de la mesure du courant d'excitation dans les moyens électro-magnétiques et d'envoi dans les moyens électro-magnétiques 15 d'un courant asservissant la variation de la dite vitesse à un profil de consigne déterminé.

2. Actionneur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de calcul sont également prévus pour calculer de façon répétitive la valeur de l'inductance et la reluctance des moyens 20 électro-magnétiques pendant que l'entrefer dépasse une valeur déterminée, et le circuit d'alimentation commande un profil de variation de vitesses sur la majeure partie du parcours de l'armature.

3. Actionneur selon la revendication 2, caractérisé en ce que 25 les moyens électro-magnétiques ont une bobine unique montée sur un circuit ferromagnétique de construction telle qu'il présente, en combinaison avec l'armature, deux cheminements stables de flux magnétique correspondant l'un et l'autre à une valeur faible, généralement nulle, d'entrefer entre l'armature et le circuit 30 ferromagnétique.

4. Actionneur selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que les moyens de calcul sont prévus pour déterminer l'inductance  $L(t)$  et la reluctance  $R(t)$  par calcul de :

5

$$L(t) = \left[ \int_{t_0}^t [u(t) - ri(t)] dt + L(T_0)i(t_0) \right] / i(t)$$

$$R(t) = \frac{n^2}{L(t)}$$

où :

10 -  $r$  est la résistance, connue, de la bobine (éventuellement corrigée en fonction de la température),

-  $T_0$  est tel que  $L(T_0) * i(T_0)$  soit connu,

-  $n$  est le nombre de spires des moyens électro-magnétiques.

15 5. Actionneur selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que les moyens électro-magnétiques sont alimentés par un commutateur (54) commandés par un modulateur de largeur d'impulsions (58) qui fournit un signal de sortie périodique, à une fréquence  $f_e$  de quelques dizaines de kHz ayant un rapport cyclique d'ouverture contrôlé pour annuler l'écart entre un profil de vitesse estimé  $\hat{v}$  et un profil de consigne.

20 6. Actionneur selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que les moyens de calcul soient prévus pour transformer la consigne de courant en consigne de flux et pour comparer le flux total créé par le courant réel estimé au flux de fuite.

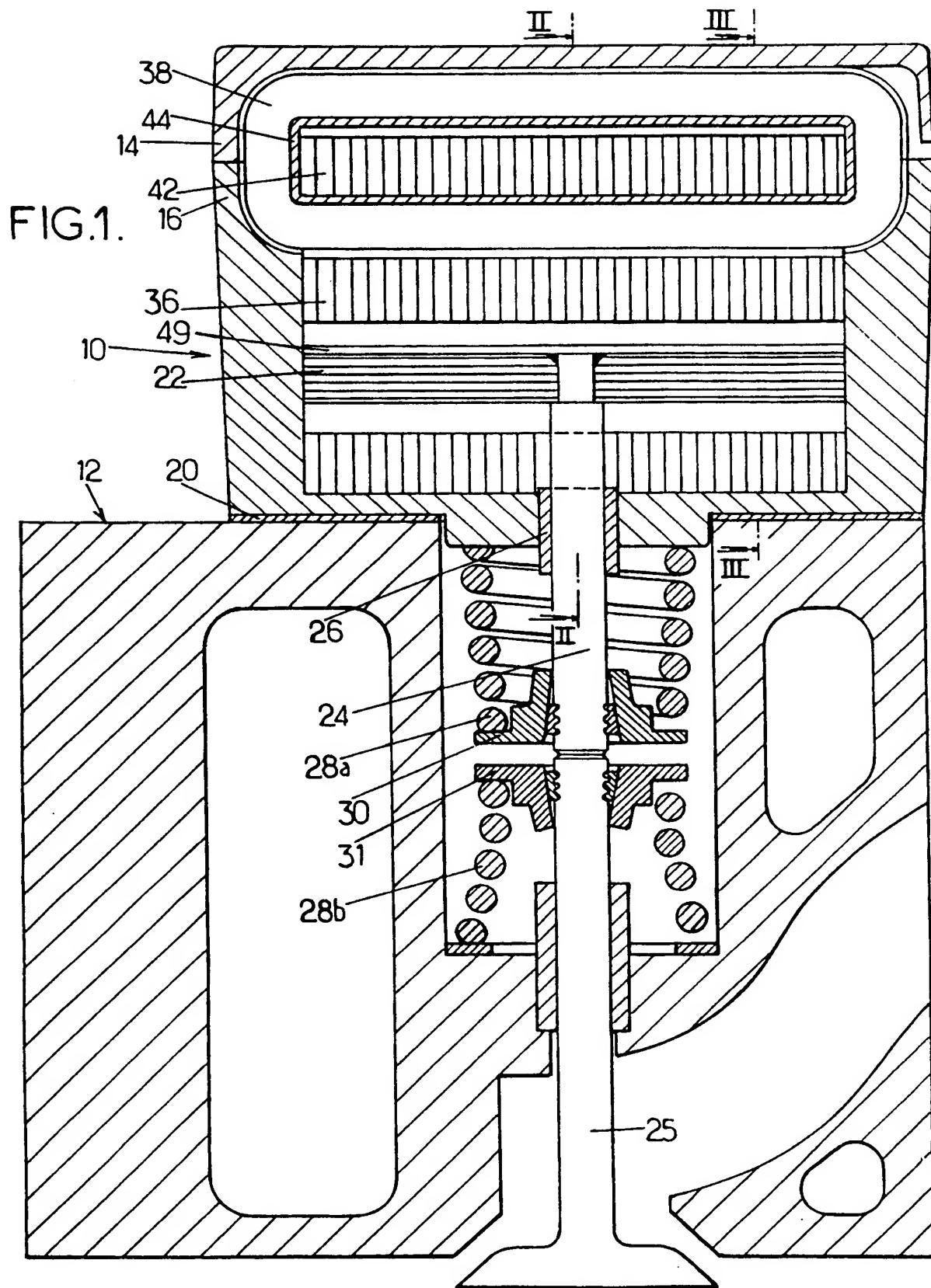
25 7. Actionneur selon la revendication 6, caractérisé en ce que les moyens de calcul constituent une boucle de courant, une boucle de flux utile et une boucle de vitesse mutuellement imbriquées.

30 8. Actionneur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, à une seule bobine, à palette feuillettée et à surfaces polaires biseautées et parallèles aux pôles du noyau.

9. Actionneur selon la revendication 8, caractérisé en ce que, pour augmenter la dissymétrie naturelle du circuit de flux supérieur par rapport au circuit de flux inférieur, les surfaces polaires de la palette ont des valeurs différentes.

5 10. Procédé de commande de soupape, utilisant un actionneur selon la revendication 1, suivant lequel on échantillonne le courant qui parcourt les moyens électromagnétiques, on déduit du courant les variations de  $L(t)$  et  $R(t)$  par le calcul, puis les variations de l'entrefer  $(x)$  par référence à des tables mémorisées, on déduit la vitesse des variations de l'entrefer dans le temps et on commande l'application d'une tension aux moyens électro-magnétiques de façon à asservir les variations dans le temps de l'entrefer  $(x)$  et de la vitesse  $(v)$  à un profil prédéterminé.

1/3



2/3

FIG. 2.

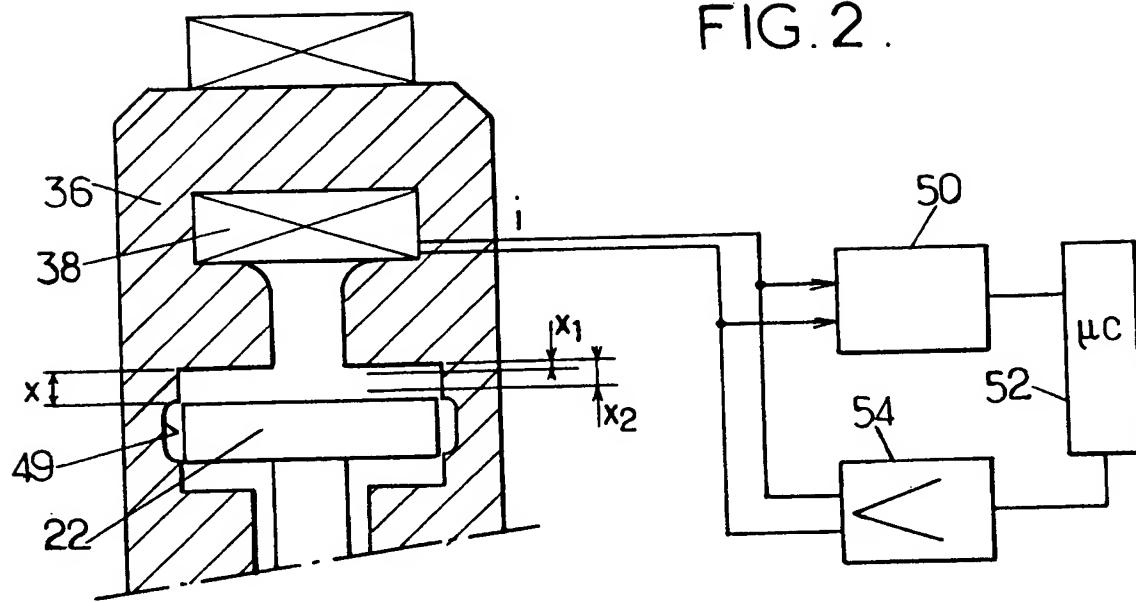


FIG. 5.

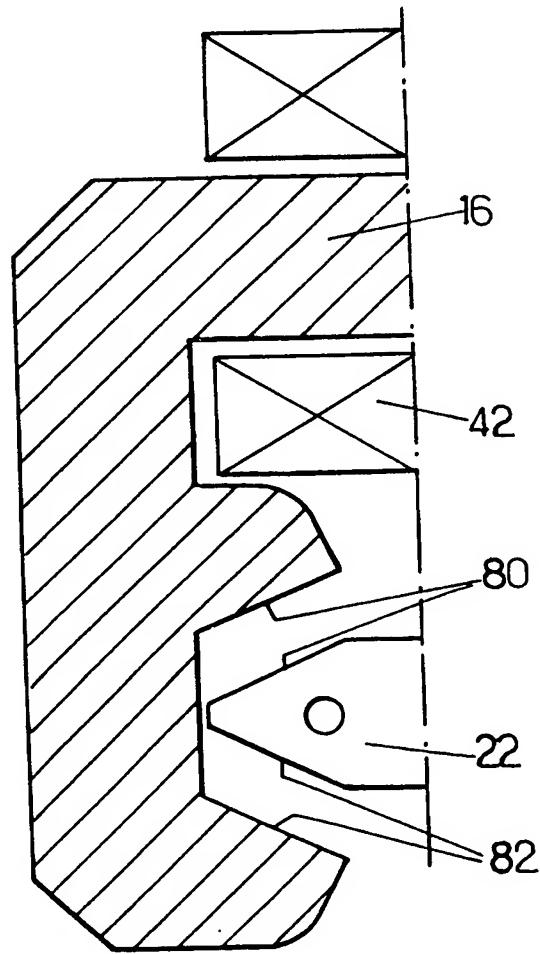


FIG.3.

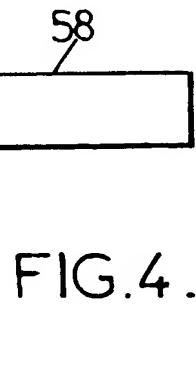
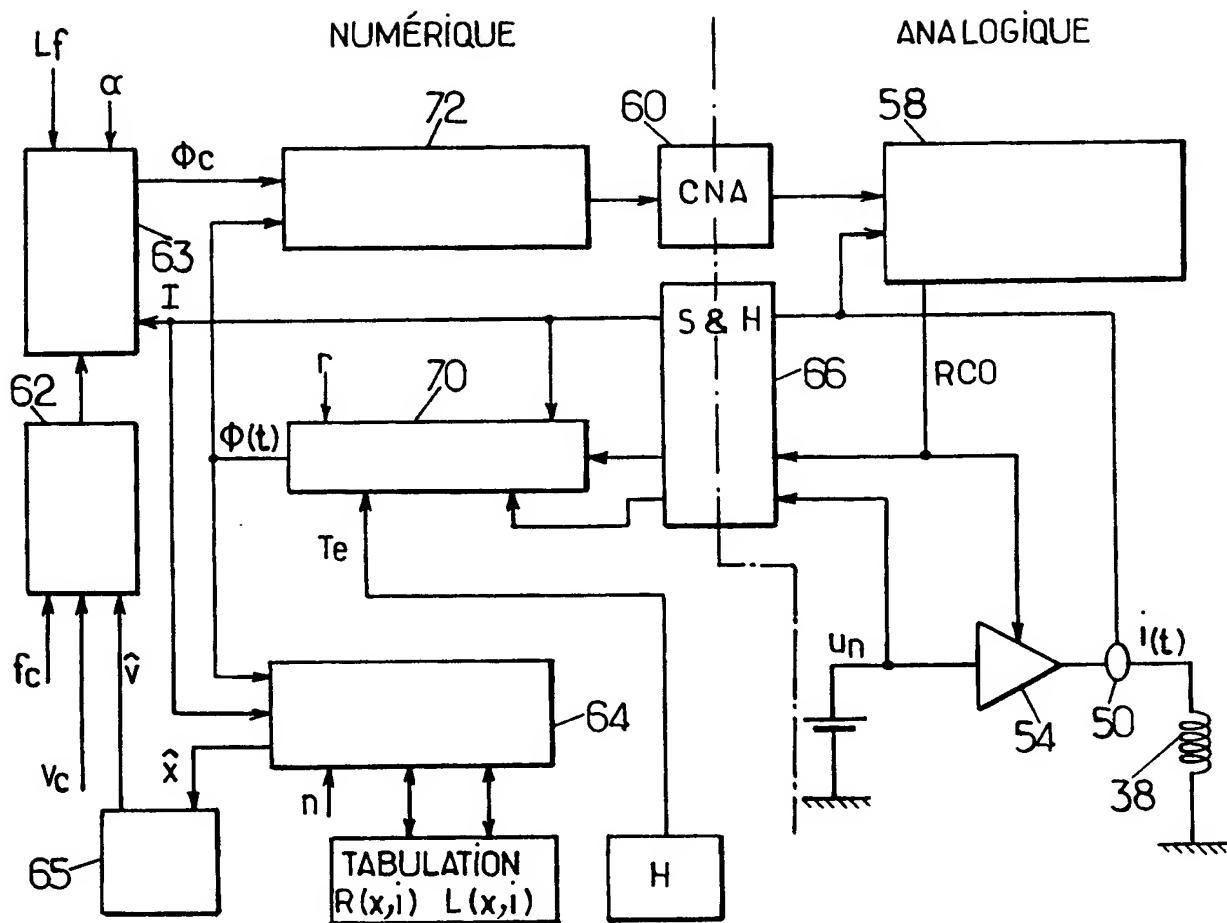


FIG.4.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/02495

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 F01L9/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 98, no. 4, 31 March 1998 (1998-03-31) & JP 09 320841 A (TOYOTA MOTOR CORP), 12 December 1997 (1997-12-12) abstract ---	1
A	EP 0 810 350 A (TOYOTA JIDOSHA KK) 3 December 1997 (1997-12-03) the whole document ---	1,2,10
A	US 5 804 962 A (FEV MOTORENTECHNIK GMBH) 8 September 1998 (1998-09-08) claims ---	1,2
A,P	DE 197 23 923 A (GRUNDL UND HOFFMANN GMBH) 10 December 1998 (1998-12-10) the whole document ---	3 -/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

28 December 1999

13/01/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Klinger, T

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International Application No PCT/FR 99/02495
---

**C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	"ELECTROMAGNETIC ENGINE VALVE ACTUATOR WITH LOW SEATING VELOCITY" RESEARCH DISCLOSURE, no. 352, 1 August 1993 (1993-08-01), page 518 XP000395246 -----	

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 99/02495

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
JP 09320841	A 12-12-1997	NONE		
EP 810350	A 03-12-1997	JP 9317419 A	09-12-1997	US 5889405 A 30-03-1999
US 5804962	A 08-09-1998	DE 19631909 A	13-02-1997	
DE 19723923	A 10-12-1998	WO 9855741 A	10-12-1998	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 99/02495

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 FO1L9/04

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 FO1L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 98, no. 4, 31 mars 1998 (1998-03-31) & JP 09 320841 A (TOYOTA MOTOR CORP), 12 décembre 1997 (1997-12-12) abrégé ---	1
A	EP 0 810 350 A (TOYOTA JIDOSHA KK) 3 décembre 1997 (1997-12-03) le document en entier ---	1,2,10
A	US 5 804 962 A (FEV MOTORENTECHNIK GMBH) 8 septembre 1998 (1998-09-08) revendications ---	1,2
A, P	DE 197 23 923 A (GRUNDL UND HOFFMANN GMBH) 10 décembre 1998 (1998-12-10) le document en entier ---	3
		-/-

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

28 décembre 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

13/01/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Klinger, T

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 99/02495

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	"ELECTROMAGNETIC ENGINE VALVE ACTUATOR WITH LOW SEATING VELOCITY" RESEARCH DISCLOSURE, no. 352, 1 août 1993 (1993-08-01), page 518 XP000395246 -----	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR 99/02495

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
JP 09320841 A	12-12-1997	AUCUN		
EP 810350 A	03-12-1997	JP 9317419 A		09-12-1997
		US 5889405 A		30-03-1999
US 5804962 A	08-09-1998	DE 19631909 A		13-02-1997
DE 19723923 A	10-12-1998	WO 9855741 A		10-12-1998

1  
2  
3

4  
5  
6